

Effets des fertilisants biologiques et de la fertilisation microdose sur la rentabilité économique de la culture du maïs (*Zea mays* L.) l'Ouest du Burkina Faso

[Effects of organic fertilizers and microdose fertilization on the economic profitability of maize (*Zea mays* L.) cultivation in western Burkina Faso]

P. Bazongo¹, K. Traoré², P.B. Ouédraogo¹, and O. Traoré²

¹Université Yembila Abdoulaye TOGUYENI ex Université de Fada N'Gourma, Institut Supérieur du Développement Durable, BP: 54 Fada N'Gourma, Burkina Faso

²Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Département Gestion des Ressources Naturelles et Système de Production, INERA-Farako-Ba, Laboratoire Sol Eau Plante, BP 910 Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study was initiated to evaluate the effects of the combined use of organic fertilizers and micro-dose fertilization on the agronomic and economic performance of maize cultivation. The trial was conducted in a completely randomized Fisher block design with 4 repetitions and 9 treatments: T0 (micro-dose) NPK 62.5kg/ha+ Urea 62.5kg/ha, T1 (micro-dose+5t/ha compost+ mulch+ zaï), T2 (micro-dose+ 5t/ha manure+ mulch+ zaï), T3 (micro dose+ 5t/ha compost+ Moringa extract+ mulch+ zaï), T4 (micro-dose+5t/ha compost+ Magnesium sulfate+ mulch+ zaï), T5 (micro-dose+5t/ha compost+ Liquid fertilizer+ mulch+ zaï), T6 (Micro-dose+5t/ha manure+ Moringa extract+ mulch+ zaï), T7 (micro-dose+5t/ha manure+ Magnesium sulfate+ mulch+ zaï) and T8 (micro-dose + 5t/ha manure + liquid fertilizer + mulch + zaï). Fertilizers and crops were also the subject of an economic evaluation to see their profitability. The economic evaluation showed that the T7 treatment gave the best margin which varied between -4185 and 309535 FCFA/ha depending on the selling prices of corn which can vary from 135 to 250 FCFA/kg. However, the RV/C of all treatments was less than 1.5 and would therefore be subject to rejection if they were offered to producers. In view of these results, we suggest that a socio-economic assessment be made between conventional and agroecological production by integrating the social and environmental dimensions to measure the impacts.

KEYWORDS: fertilizers, organic, agronomic and economic, corn. Burkina Faso.

RESUME: Cette étude a été initiée pour évaluer les effets de l'utilisation combinée de fertilisants biologiques et de la fertilisation micro-dose sur la performance agronomique et économique de la culture du maïs. L'essai a été conduit dans un dispositif en blocs de Fisher complètement randomisé avec 4 répétitions et 9 traitements: T0 (micro-dose) NPK 62,5kg/ha+Urée 62,5kg/ha, T1 (micro-dose+5t/ha compost+ paillage+ zaï), T2 (micro-dose+ 5t/ha fumier+ paillage+ zaï), T3 (micro-dose+ 5t/ha compost+ Extrait de moringa+ paillage+ zaï), T4 (micro-dose+5t/ha compost+ Sulfate de magnésium+ paillage+ zaï), T5 (micro-dose+5t/ha compost+ Engrais liquide+ paillage+ zaï), T6 (Micro-dose+5t/ha fumier+ Extrait de moringa+ paillage+ zaï), T7 (micro-dose+5t/ha fumier+ Sulfate de magnésium+ paillage+ zaï) et T8 (micro-dose+5t/ha fumier+ Engrais liquide+ paillage+ zaï). Les fumures et les cultures ont fait l'objet d'une évaluation économique pour voir leurs rentabilités. L'évaluation économique a permis de montrer que le traitement T7 a donné la meilleure marge qui a varié entre -4185 et 309 535 FCFA/ha en fonction des prix de vente du maïs qui peuvent varier de 135 à 250 FCFA/kg. Cependant, le RV/C de tous les traitements était inférieur à 1,5 et feront donc l'objet de rejet s'ils étaient proposés aux producteurs. Au regard de ces résultats, nous suggérons de faire une évaluation socioéconomique entre la production conventionnelle et la production agroécologique en intégrant les dimensions sociale et environnementale pour mesurer les impacts.

MOTS-CLEFS: fertilisants, biologiques, agronomique et économique, maïs. Burkina Faso.

1 INTRODUCTION

Le secteur agricole a contribué à 13,6% au Produit Intérieur Brut en 2022 [1] et demeure ainsi l'un des secteurs moteurs du développement économique et social du Burkina Faso. Malgré cette position primordiale, l'agriculture burkinabé peine à assurer de façon continue une alimentation durable pour tous. Ainsi, pour occuper sa place, elle doit relever plusieurs défis parmi lesquels, sa capacité à faire face à la flambée des prix des engrais chimiques sur le plan mondial [2]. L'option du maïs réside du fait qu'il se présente comme la deuxième filière porteuse du Burkina Faso juste après le coton [3] et contribue fortement à la sécurité alimentaire. Cependant, son rendement moyen était de l'ordre de 1671 kg/ha sur la période 2012-2021 [4] très loin des potentiels de rendements des variétés vulgarisées par la recherche. D'autres travaux notamment ceux de [5] et [6] se sont intéressés essentiellement à un type de fumure organique bien déterminé combiné ou non à la fumure minérale pour observer leurs effets sur le maïs. Cependant, la culture reste sujette à de nombreuses polémiques en termes d'impacts économiques. Au regard de ce qui précède une question de recherche a été émise. A savoir si ce système de culture du maïs est-il rentable ? Ainsi, il s'avère nécessaire de diversifier les sources de matière organique pour accroître la productivité des systèmes de culture du maïs ainsi que sa rentabilité économique. Pour ce faire les différents traitements seront évalués pour déterminer ceux qui sont les plus rentables et permettra de voir le lien qui existe entre les gains de rendements et la rentabilité économique. Nos travaux de recherche ont été conduits en vue d'apporter des réponses à cette question. L'objectif de l'étude était d'évaluer la rentabilité économique des fertilisants dans la culture du maïs.

2 MÉTHODOLOGIE

Les travaux de recherche ont été conduits à la station de l'INERA Farako-Bâ située à environ 10 km au Sud-Ouest de Bobo Dioulasso sur la nationale n°7 Bobo-Banfora. La station peut être localisée aux coordonnées géographiques 4°20' longitude Ouest, 11°06' latitude Nord et se situe à 405 m d'altitude par rapport au niveau de la mer. Le climat est de type soudanien et la saison pluvieuse se situe entre mi-mai et mi-octobre [7].

2.1 MATÉRIEL

Le matériel utilisé était composé de matériel végétal et de matériel technique. Le matériel végétal utilisé pour l'étude a été constitué de maïs. La variété de maïs utilisée « SR21 » était de couleur blanche avec un cycle de 95 jours, elle se caractérise par une bonne résistance à la maladie de la mosaïque (MSV). Son potentiel de rendement en grains est de 5,1 t/ha [8]. Les différents fertilisants biologiques utilisés sont le compost, le fumier de parc, le sulfate de magnésium, de l'engrais liquide et de l'extrait de feuilles de moringa. Dans cette étude, deux fertilisants minéraux (engrais) ont été utilisés. Il s'agit notamment: du NPK de 14-23-14-6S-1B et de l'Urée de 46% N.

2.2 MÉTHODES

Le dispositif expérimental utilisé a été de type bloc de Fisher de quatre (4) répétitions avec neuf (09) traitements complètement randomisés (Tableau 1).

Tableau 1. Codifications des traitements

Traitements	Composition	Libellé
T0 (témoin)	NPK 62,5kg/ha + Urée 62,5kg/ha (micro dose)	MD
T1	5t/ha compost + micro dose + Paillage + Zaï	C+MD
T2	5t/ha fumier de parc + micro dose + Paillage + Zaï	F+MD
T3	5t/ha compost + Extrait de feuilles de moringa + micro dose + Paillage + Zaï	C+EM+MD
T4	5t/ha compost + Sulfate de magnésium + micro dose+ Paillage + Zaï	C+SM+MD
T5	5t/ha compost + Engrais liquide + micro dose + Paillage + Zaï	C+EL+MD
T6	5t/ha fumier + Extrait de feuilles moringa + micro dose + Paillage+ Zaï	F+EM+MD
T7	5t/ha fumier + Sulfate de magnésium+ micro dose+ Paillage+ Zaï	F+SM+MD
T8	5t/ha fumier + Engrais liquide+ micro dose+ Paillage+ Zaï	F+EL+MD

2.3 COLLECTE DES DONNÉES

DÉTERMINATION DES RENDEMENTS DU MAÏS

○ Rendement en grains du maïs (Rgm)

Le rendement en grains de la parcelle utile a été obtenu après séchage au soleil pour atteindre un taux d'humidité de 14%. Pour ce faire, un échantillon a été prélevé et testé à l'aide d'un humidimètre. Les grains ont été ensuite débarrassés de toutes les impuretés par vannage et par tri. Le rendement a été déterminé à partir de la formule (1):

$$Rgm \left(\frac{kg}{ha} \right) = \frac{\text{Poids moyen du traitement}(kg)}{16 m^2} \times 10000 m^2 \quad (1)$$

○ Rendement en paille du maïs (Rbm)

Le rendement en paille d'une parcelle élémentaire a été déterminé par carré de rendement après le séchage à l'étuve pendant 72 h à une température de 65 °C. La paille a été ensuite pesée à l'aide d'un peson étalonné. Le poids moyen par traitement a été obtenu en faisant la moyenne des échantillons de paille des trois carrés de rendement.

Le rendement a été déterminé à partir de la formule (2):

$$Rbm \left(\frac{kg}{ha} \right) = \frac{\text{Poids moyen du traitement}(kg)}{16 m^2} \times 10000 m^2 \quad (2)$$

DÉTERMINATION DE L'EFFICACITÉ AGRONOMIQUE DES FUMURES (EAF)

L'efficacité agronomique permet une meilleure comparaison des différents types de fertilisation. Ainsi, pour l'efficacité agronomique, le témoin absolu est considéré comme la référence avec une efficacité de 0% [9]. L'efficacité agronomique (4) a été déterminée pour chaque traitement (Ti) à partir du rapport entre le gain de rendement (Gr) (3) et le rendement du traitement (RTi).

La formule suivante a été utilisée:

$$Gr = RTi - RT0 \quad (3)$$

$$EAF = \frac{Gr}{RTi} \times 100 \quad (4)$$

PARAMÈTRES ÉCONOMIQUES

DÉTERMINATION DES DONNÉES ÉCONOMIQUES

Pour les différents calculs, nous avons utilisé de deux types de données. Des données primaires provenant d'enquête auprès des producteurs sur les différents marchés locaux de la ville de Bobo-Dioulasso, Karangasso Sambla et de Toussiana. Des données secondaires obtenues au niveau des statistiques agricoles du ministère en charge de l'Agriculture [4]. La prise en compte de ces différentes sources a permis de retenir trois catégories de prix de vente afin d'inclure les incertitudes liées à la variation des prix dans notre démarche. Ainsi, le premier prix (P1) est la moyenne de prix des grands marchés répertoriés sur la période 2012 à 2021 soit 135 FCFA/kg [4]. Le deuxième prix de 250 FCFA est le prix moyen (P2) en juillet 2023 sur les marchés locaux (Toussiana, Karangasso Sambla et Bobo) et le troisième prix (P3) étant la moyenne entre le premier et deuxième prix soit 193 FCFA. La paille du maïs sur les marchés locaux a été valorisée à 10 FCFA/kg.

Concernant les coûts unitaires de la fertilisation, pour les engrais minéraux ce sont les prix actuels moyens du marché qui ont été considérés soit 550 FCFA/kg du NPK et 450FCFA/kg pour l'urée. Pour le compost, le prix du kilogramme était de 60 FCFA, le fumier à 40 FCFA/kg, les feuilles de moringa ont été acquis à 500 FCFA/kg, l'engrais liquide a été valorisé 40 FCFA/l. Pour le sulfate de magnésium le coût moyen du kilogramme de la gamme utilisée dans l'essai était de 30625 FCFA/ha.

La charge liée aux travaux n'est autre que la somme des dépenses et du coût total des temps de travaux obtenue par le produit entre les temps mis en homme-jour (HJ) et le prix de la main d'œuvre, à 1500 FCFA/HJ. Le transport a été également estimé en H/J. Il faut souligner que tous les calculs ont été rapportés à l'hectare. L'analyse n'a pas tenu compte de l'amortissement du matériel utilisé (Cf. annexe 3).

RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE DE LA CULTURE EN FONCTION DE LA FERTILISATION UTILISÉE

Les différents indicateurs ont permis de comparer les richesses produites par chaque traitement.

Le bénéfice brut (Bb) (5) est obtenu à partir du produit entre le rendement (kg/ha) et le prix unitaire (FCFA/kg) de la culture.

$$Bb(Ti) = Rendement(Ti) \times Prix\ unitaire\ du\ produit(Ti) \quad (5)$$

Le bénéfice net (Bn) (6) exprimé en FCFA/ha est obtenu en faisant la différence entre le bénéfice brut (Bb) et les charges variables (CV) correspondant à chaque traitement.

$$CV(Ti) = \left(Quantit \frac{d'intrants}{ha} \times Prix\ unitaire\ de\ l'intrant \right) + \Sigma Ci \quad (6)$$

Avec ΣCi qui repr \sente l'ensemble des autres charges (les travaux, le transport). Le Bn est obtenu par la formule (7):

$$Bn = Bb(Ti) - CV(Ti) \quad (7)$$

Cet indicateur a permis de d \terminer la rentabilit \ de la culture en fonction de chaque fertilisation utilis \e.

RATIO DE VALEUR SUR CO \T

La performance  \conomique des fumures a  \t \ d \termin \e  \ travers les composantes de rendement (paille et grains) par le ratio de valeur sur co \t (RV/C) afin de proposer la (s) fertilisation (s) optimale (s). Cela a permis au terme de cette  \tude de proposer la meilleure option parmi toutes les techniques appliqu \ees. En effet, l' \valuation de l'efficacit \ d'un processus de production, passe par le calcul de la productivit \ de la terre (rapport entre la quantit \ produite et la quantit \ investie) et celle du travail (r \mun \ration de la main d' \uvre) [10].

Il a  \t \ d \termin \e par la formule (8):

$$\frac{RV}{C} = \frac{Bn\ du\ traitement\ \left(\frac{FCFA}{ha}\right) - Bn\ du\ t \moin\ \left(\frac{FCFA}{ha}\right)}{Co \ts\ variables\ totaux\ \left(\frac{FCFA}{ha}\right)} \quad (8)$$

Ainsi pour [10]:

- une technologie ne peut  \tre facilement adopt \e que si la valeur du RVC ≥ 2 .
- l'adoption se fait avec r \ticence si $1,5 \leq RVC < 2$
- et il y a rejet si $RVC < 1,5$.

TRAITEMENT ET ANALYSE STATISTIQUE DES DONN \EES

Le tableur Excel 2016 a servi pour la saisie des donn \ees et l' \laboration des tableaux et graphiques et les analyses statistiques ont  \t \ r \alis \ees  \ l'aide du logiciel XLSTAT 2016. Le test de Newman Keuls a permis de comparer les moyennes au seuil de 5% lorsque l'analyse de variance (ANOVA) indique des diff \rences entre les traitements.

3 R \SULTATS

EFFETS SUR LES PARAM \TRES DE RENDEMENT GRAINS ET PAILLE DU MA \S

L'analyse a relev \ des diff \rences significatives pour le rendement en gains et en paille  \ la fin de cette  \tude ($p=0,001$ et $p=0,002$). Les rendements en grains et en paille les plus  \lev \s ont  \t \ obtenus avec les traitements MD+ compost+ engrais liquide+ paillage + za \ (3020 kg/ha, 4449 kg/ha), MD+ fumier+ sulfate de magn \sium + paillage + za \ (2728 kg/ha, 4791 kg/ha) et MD+ compost+ extrait de feuilles de moringa+ paillage + za \ (2614 kg/ha, 4340 kg/ha). Les rendements en grains issus des traitements T5 et T7 ont significativement augment \ par rapport  \ celui du traitement t \moin T0 (584 kg/ha) respectivement de 417% et 367% (Tableau 1). Les rendements en paille des traitements de T5 et T7 ont  \galement vari \ significativement comparativement  \ T0 avec respectivement 221% et 246%. De fa \on globale les traitements ayant re \us des fertilisants biologiques, le paillage et le za \ ont  \t \ plus performants que celui ayant re \u uniquement la micro dose.

Tableau 2. Effets sur le rendement grain et paille du maïs

Traitement	Rendement en grains (kg/ha)	Rendement en paille (kg/ha)
T0	584 ^a ± 95	1384 ^a ± 129
T1	2156 ^b ± 517	3986 ^b ± 923
T2	2114 ^b ± 295	4251 ^b ± 521
T3	2614 ^b ± 946	4340 ^b ± 477
T4	2104 ^b ± 65	3958 ^b ± 794
T5	3020 ^b ± 601	4449 ^b ± 875
T6	2197 ^b ± 208	3399 ^b ± 623
T7	2728 ^b ± 552	4791 ^b ± 712
T8	2416 ^b ± 386	4427 ^b ± 514
Probabilité	0,001	0,002
Signification	HS	HS

NB: Les valeurs suivies de la même lettre, dans une même colonne, ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% de probabilité. T0: Micro dose vulgarisée (MD); T1: MD+ compost + paillage +zaï (MD+C); T2: MD+ fumier+ paillage +zaï (MD+F); T3: MD+ compost+ extrait de moringa+ paillage +zaï (MD+C+EM); T4: MD+ compost+ sulfate de magnésium+ paillage +zaï (MD+C+SM); T5: MD+ compost+ engrais liquide+ paillage +zaï (MD+C+EL); T6: MD+ fumier+ extrait de moringa+ paillage +zaï (MD+F+EM); T7: MD+ fumier+ sulfate de magnésium+ paillage +zaï (MD+F+SM); T8: MD+ fumier+ engrais liquide+ paillage +zaï (MD+F+EL); HS: hautement significatif; JAS: jour après semis.

EFFICACITÉ AGRONOMIQUE DE LA FERTILISATION (EAF)

L'efficacité agronomique des différentes fertilisations est présentée dans la Figure 1. On observe une forte variation de l'efficacité agronomique des fertilisations entre les traitements ayant bénéficiés de fertilisant biologiques, du paillage et du zaï, et le témoin. Le traitement T5 (MD+C+EL) présente la meilleure efficacité agronomique (EAF=81%) parmi les fertilisations biologiques suivi de T7 (MD+F+SM) et T3 (MD+C+EM) avec respectivement 79% et 78%. En outre, toutes les fumures ont présenté une EAF >70% par rapport à l'efficacité agronomique du traitement T0 (EAF=0%).

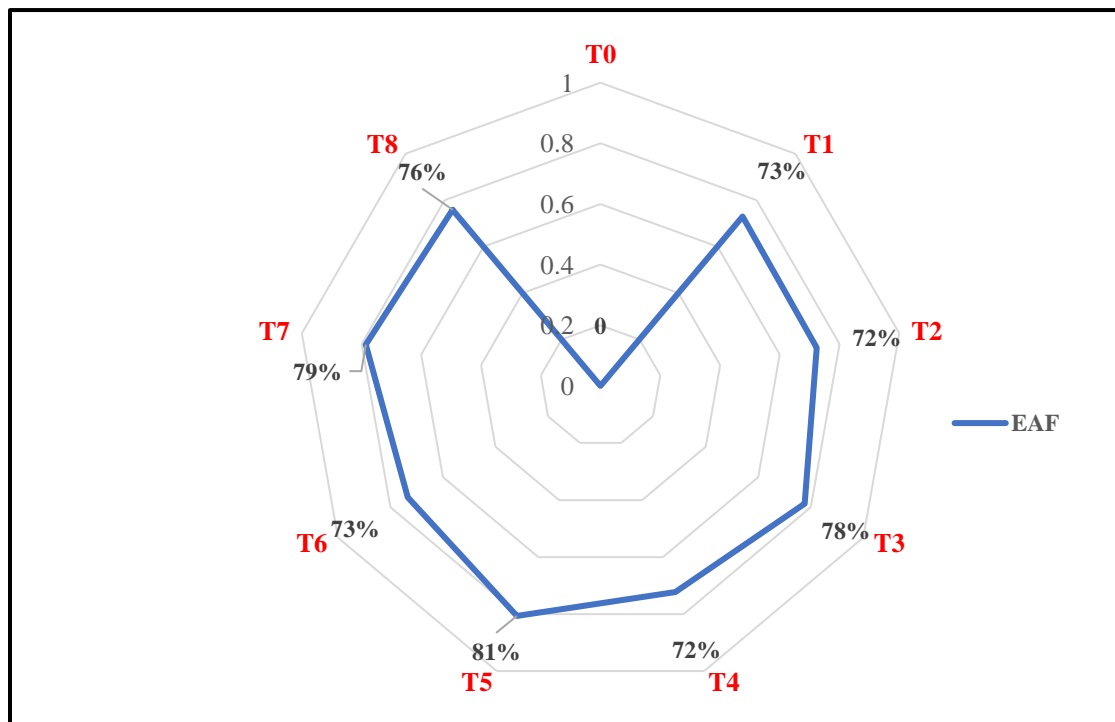


Fig. 1. Efficacité agronomique de la fertilisation

NB: T0: Micro dose vulgarisée (MD); T1: MD+ compost + paillage +zaï (MD+C); T2: MD+ fumier+ paillage +zaï (MD+F); T3: MD+ compost+ extrait de moringa+ paillage +zaï (MD+C+EM); T4: MD+ compost+ sulfate de magnésium+ paillage +zaï (MD+C+SM); T5: MD+ compost+ engrais liquide+ paillage +zaï (MD+C+EL); T6: MD+ fumier+ extrait de moringa+ paillage +zaï (MD+F+EM); T7: MD+ fumier+ sulfate de magnésium+ paillage +zaï (MD+F+SM); T8: MD+ fumier+ engrais liquide+ paillage +zaï (MD+F+EL); EAF: efficacité agronomique de la fertilisation.

RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE DE LA FERTILISATION ET DU SYSTÈME DE CULTURE

• Bénéfice net (BN)

Le bénéfice net de l'utilisation de chaque type de fertilisation est présenté dans la Figure 2. Pour une prise en compte effective de la variabilité des prix de vente des produits agricoles, trois niveaux de prix ont été pris en compte, classés en prix bas, prix moyen et prix élevé. Ce qui a permis de dégager trois catégories de bénéfice. Lorsque nous considérons les prix bas, il ressort des résultats que tous les traitements sans exception présentent un bénéfice net négatif. Les recettes de production occasionnées n'ont pas permis de couvrir les dépenses de production. La plus forte perte a été induite par le traitement T4 (-198 005 FCFA/ha) tandis que la plus faible perte a été constatée au niveau du traitement T7 avec -4 185 FCFA/ha. Avec des prix élevés, tous les traitements ont induit un bénéfice net positif excepté le témoin T0. T7 (MD+F+SM) (309 535 FCFA/ha) a été le plus performant suivi de T5 (MD+C+EL) (287 220 FCFA/ha). Les plus faibles profits ont été obtenus avec T4 (MD+C+SM) (43 955 FCFA/ha) et T0 (MD) (-4 910 FCFA/ha). Avec des prix moyens, six (06) traitements ont présenté des bénéfices nets positifs. Parmi ceux-ci, deux traitements se sont particulièrement illustrés T7 et T5 respectivement avec 154 039 FCFA/ha et 115 080 FCFA/ha. Les traitements T1, T0 et T4 ont induit des profits négatifs donc des pertes. La plus grande perte a été observée au niveau du traitement T4 (MD+C+SM). De façon globale, on constate que le traitement économiquement le plus performant est MD+F+SM et le moins performant MD+C+SM.

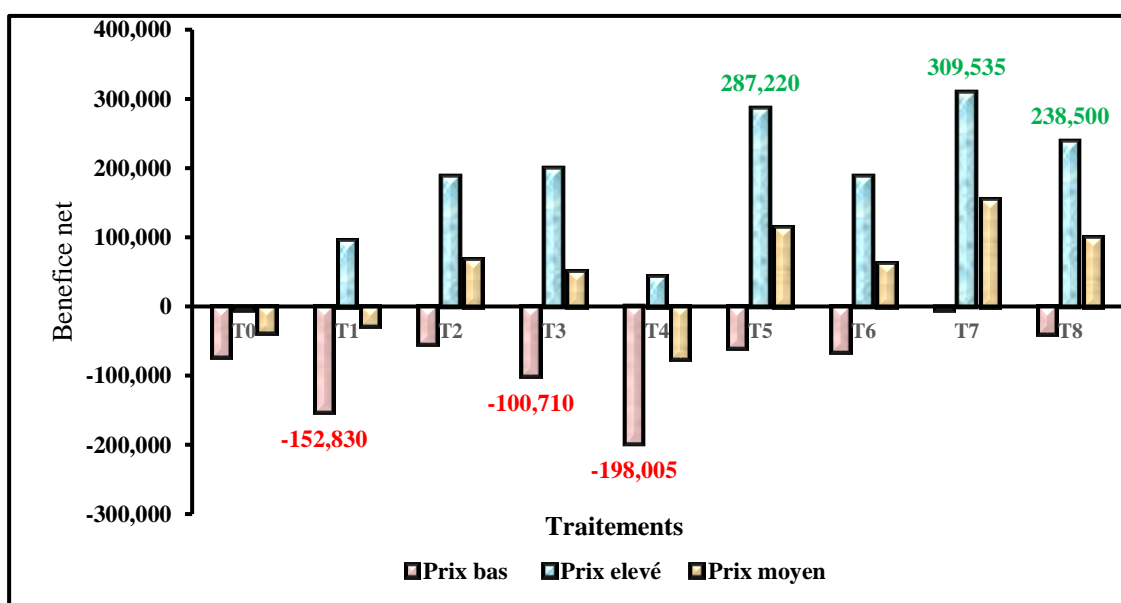


Fig. 2. Détermination du bénéfice net des traitements

NB: T0: Micro dose vulgarisée (MD); T1: MD+ compost + paillage +zaï (MD+C); T2: MD+ fumier+ paillage +zaï (MD+F); T3: MD+ compost+ extrait de moringa+ paillage +zaï (MD+C+EM); T4: MD+ compost+ sulfate de magnésium+ paillage +zaï (MD+C+SM); T5: MD+ compost+ engrais liquide+ paillage +zaï (MD+C+EL); T6: MD+ fumier+ extrait de moringa+ paillage +zaï (MD+F+EM); T7: MD+ fumier+ sulfate de magnésium+ paillage +zaï (MD+F+SM); T8: MD+ fumier+ engrais liquide+ paillage +zaï (MD+F+EL).

RATION VALEUR SUR COÛT (RV/C)

Les résultats de RVC montrent que les gains de production occasionnés par l'utilisation des fertilisants biologiques, la pratique du paillage et du zaï quel que soit le niveau de prix n'ont pas permis de couvrir les dépenses de production en culture du maïs (Figure 3). En effet, les RVC de tous les traitements sont inférieurs à 1,5. Autrement dit, l'utilisation des fertilisants biologiques combinée à la micro dose minérale et la pratique du paillage et du zaï ont donné des traitements moins avantageux avec moins de chance d'adoption. Cependant, les T7, T5 et T8 ont induit des gains de production proche du seuil d'adoption avec réticence ($1,5 < RVC \leq 2$). Contrairement au traitements T4 et T0.

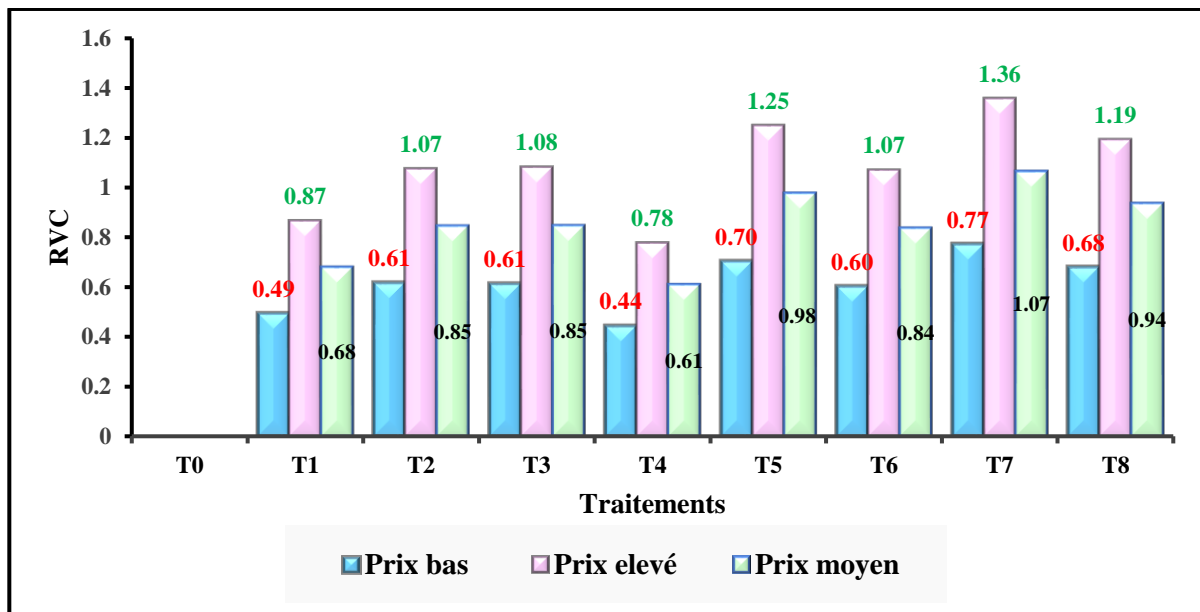


Fig. 3. Détermination du ratio RV/C

NB: T0: Micro dose vulgarisée (MD); T1: MD+ compost + paillage +zaï (MD+C); T2: MD+ fumier+ paillage +zaï (MD+F); T3: MD+ compost+ extrait de moringa+ paillage +zaï (MD+C+EM); T4: MD+ compost+ sulfate de magnésium+ paillage +zaï (MD+C+SM); T5: MD+ compost+ engrais liquide+ paillage +zaï (MD+C+EL); T6: MD+ fumier+ extrait de moringa+ paillage +zaï (MD+F+EM); T7: MD+ fumier+ sulfate de magnésium+ paillage +zaï (MD+F+SM); T8: MD+ fumier+ engrais liquide+ paillage +zaï (MD+F+EL).

4 DISCUSSION

Pour ce qui concerne les rendements, la culture sans apport de fertilisants biologiques n'a pas favorisé la croissance de rendement. Par contre, une bonne variation du rendement a été observée au niveau des traitements ayant reçus les fertilisants combinés et l'application du paillage et du zaï. Les traitements MD+C+EL et MD+F+SM ont été les plus performants. Les rendements de ces traitements ont significativement augmenté par rapport à celui du traitement témoin T0. Cette performance pourrait être due à la quantité non négligeable d'éléments tels que l'azote et le phosphore assimilable que contiennent ces traitements, éléments qui sont indispensables à la croissance et au développement des plantes, et qui agissent immédiatement sur le développement et sur la production des plantes. Pour le traitement à base de l'engrais liquide, il a dû être plus soluble et par conséquent présenter des aptitudes adéquates pour être facilement absorbé par la plante par rapport à l'engrais minéral [11]. Ces résultats sont similaires à ceux de [12] qui ont montrés avec le turbo-bio (engrais organique liquide) applicable au niveau des feuilles et au niveau des racines, que les traitements avec du Turbo-bio présentent un nombre de fruits et de fleurs plus élevés par rapport aux traitements avec fumure minérale. Des résultats similaires ont été également trouvés par [13] à travers l'application d'un engrais organique liquide sur le piment. S'agissant à base de sulfate de magnésium, sa performance pourrait s'expliquer par l'effet additionnel de ce dernier au fumier. En effet, le soufre agit en synergie avec l'azote et entre dans la constitution de la chlorophylle [14]. Le magnésium quant lui est un élément central indispensable des molécules de chlorophylle [15]. Le traitement à base d'extrait de feuilles de Moringa a présenté également un bon rendement comparativement au témoin. Ce résultat pourrait s'expliquer par l'apport combiné du compost et sans doute de l'extrait des feuilles de moringa. [6] ont montré que l'apport du compost, même à faible dose, a un effet positif sur les rendements du maïs. Sa combinaison avec l'extrait de feuilles de moringa qui selon [16] peut être utilisé pour produire une hormone de croissance végétale efficace appelé le zéatine, permettant d'accroître de 25 à 30 % le rendement de presque n'importe quelle culture [17] aurait donc permis une amélioration du rendement.

La même tendance est observée avec les quantités de paille provenant du maïs cultivé dans les traitements ayant reçus les fertilisants biologiques, la paille et le zaï qui a augmenté significativement par rapport à celle du maïs en culture exclusivement minérale. Par ailleurs, les traitements MD+C+EL, MD+F+SM et MD+C+EM à l'instar des rendements en grains, ont produit de meilleures biomasses comparativement aux autres traitements. Ces résultats d'une façon générale confirment les tendances obtenues sur la croissance et le développement agro-morphologiques. En outre, ces résultats pourraient d'autant être expliqués par le paillage fait au semis sur les parcelles ayant bénéficiées de fertilisants biologiques. En effet, l'application de tiges de mil (seules ou en combinaison avec les engrais minéraux) accroît la fertilité chimique des sols et la production du mil [18]. Les traitements les plus performants se trouvent être ceux-là qui ont présenté les meilleures valeurs en azote et en phosphore. Cependant, [19] ont montré avec le blé que l'apport de la paille par enfouissement pourrait avoir un effet dépressif dû à la confiscation de l'azote minéral du sol par les microorganismes décomposeurs,

communément appelée immobilisation ou faim d'azote. Cette situation selon [20] justifie l'apport de matières azotées organiques (engrais vert, engrais organique) ou minérale (urée).

De façon générale, les rendements obtenus sont inférieurs au rendement potentiel de la culture qui est de 5100 kg/ha [8]. Toutefois, il faut signaler que les rendements en grains de maïs obtenus avec les traitements à base de fertilisants biologiques combinés à la micro dose au paillage et au zaï ont été supérieurs à ceux observés en milieu paysan qui était de 1671 kg/ha sur la période 2012-2021 [4]. Ce qui montre le rôle bénéfique des fertilisants combinés aux pratiques agroécologiques sur la culture.

Pour l'efficacité agronomique qui nous renseigne sur le surplus de rendement engendré par une fertilisation donnée comparativement au témoin montre que le traitement T5 à base de compost, de l'engrais liquide combiné à la micro dose minérale au paillage et au zaï a donné la meilleure efficacité (EAF=81%). Cela signifie que ce traitement a engendré 81% de plus de rendement par rapport à la fumure exclusivement minérale (témoin). Il est suivi par le traitement T7 (MD+F+SM) avec une EAF=79% et de T3 (MD+C+EM) avec une EAF=78%. Par ailleurs, tous les traitements excepté le témoin (MD) ont montré une efficacité agronomique supérieure à 70%. L'apport des fertilisants biologiques et les pratiques agroécologiques améliore les rendements du maïs.

Sur la base d'une comparaison du bénéfice net, trois traitements avec T7 (à base de fumier +sulfate de magnésium) en tête suivi de T5 (à base de compost + d'engrais liquide) et de T8 (fumier + l'engrais liquide) ont été les plus performants. Ces performances sont d'autant plus importantes que les prix de vente de la production sont élevés. Les coûts additionnels engendrés par l'utilisation des fertilisants biologiques, du paillage et du zaï sont donc inférieurs aux revenus additionnels générés pour ces traitements. Cela signifie que la rentabilité est fonction non seulement du gain de production enregistré mais également dépend du coût d'acquisition des intrants et du niveau de prix de vente de la production. La rentabilité s'est donc sensiblement améliorée avec l'usage des fertilisants et de l'application des pratiques agroécologiques comparativement au témoin. Toutefois, nos résultats ne sont pas similaires à ceux de [21] et [22] qui ont montré que plus le coût de production était moindre, plus les traitements étaient rentables. Ce qui n'est pas vérifié dans notre étude où les traitements qui présentent les plus faibles coûts de production (T0= 164750 FCFA/ha; T2= 382750 FCFA/ha; T6= 395750 FCFA/ha) ne sont pas les plus rentables.

Par ailleurs, les résultats d'analyse économique sur la performance des traitements présentent des Ratio Valeur/Coût inférieurs à 1,5 (RV/C< 1,5) quel que soit le niveau de prix. Selon [10], cela correspond à une perte d'argent et à rejet d'adoption auprès des producteurs.

En effet, les bénéfices des pratiques agroécologiques vont au-delà de la rentabilité économique mais intègrent la rentabilité sociale et écologique. Pour ce faire, il est important de tenir compte du prix de vente dans la construction de la rentabilité des produits issus de la production agroécologique comme dans notre cas. Ce qui pose la problématique de trouver un marché pour ces produits avec des prix rémunérateurs pour améliorer la rentabilité du système. L'agroécologie ne devrait pas être vue seulement sous l'angle du bien être écologique mais doit permettre aux agriculteurs d'atteindre un équilibre économique dans leurs exploitations seul gage pour la durabilité du système. Pour ainsi, corroborer les propos de [23] qui déclarait à ce sujet que « *si l'on consomme moins d'énergies fossiles, moins de phytosanitaires, moins d'antibiotiques, le résultat est bon non seulement pour l'environnement, mais également pour l'équilibre économique des exploitations* ».

5 CONCLUSION

L'évaluation de l'efficacité agronomique et économique de la culture du maïs a permis de montrer que le niveau de bénéfice était fonction du rendement mais surtout du niveau de prix de vente des produits. Les résultats ainsi présentés conduiront donc à un rejet de la technologie. L'utilisation des fertilisants biologiques combinés à la micro dose dans un système agroécologique est économiquement rentable donc facilement adoptable par les producteurs.

L'analyse agronomique a permis de montrer que la fertilisation à base de compost, d'engrais liquide combinés à la micro dose, au paillage et au zaï a été plus performant suivi de la fertilisation à base fumier, de sulfate de magnésium combinés à la micro dose, au paillage et au zaï. Quant à l'analyse économique, elle a permis de montrer que les fertilisants biologiques ne peuvent être rentables qu'à condition d'avoir des prix plus attractifs sur le marché, faute de quoi, les avantages écologiques seulement ne pourront assurer sa pérennisation auprès de producteurs. Aussi, l'analyse économique des résultats de l'expérimentation agronomique a permis de mettre en évidence que les traitements aux rendements physiques les plus élevés ne sont pas nécessairement les plus rentables. Au terme de nos travaux de recherche, nous suggérons de faire une évaluation socioéconomique entre la production conventionnelle et la production agroécologique en intégrant les dimensions sociale et environnementale pour mesurer les impacts.

REMERCIEMENT

Les auteurs traduisent leur gratitude à l'Université Yembila Abdoulaye TOGUYENI de Fada N'Gourma, pour avoir financé cette étude.

REFERENCES

- [1] INSD. Les comptes nationaux de 2022 (Premières estimations à partir des CNT) Base 2015, SCN 2008 (Burkina Faso), 10p. 2023.
- [2] IFDC. La flambée des prix des engrais: Une menace pour la sécurité alimentaire en Afrique sub-saharienne. Consulté à 22h030 le 24/10/2023 <https://ifdc.org/2021/12/21/la-flambee-des-prix-des-engrais-une-menace-pour-la-securite-alimentaire-en-afrique-sub-saharienne/>. 2021.
- [3] Chambre de Commerce et d'Industrie du Burkina Faso (CCI-BF). Rapport sur l'état du commerce et de la concurrence au Burkina Faso. 65p. 2018.
- [4] MARAH. Annuaire des statistiques agro-sylvo-pastorales 2021, Ouagadougou (Burkina Faso), 54p. 2022.
- [5] A.P. Gomgnimbou, A. A. Bandaogo, K. Coulibaly, A. Sanon, S. Ouattara, H.B. Nacro Effets à court terme de l'application des fientes de volaille sur le rendement du maïs (*Zea mays* L.) et les caractéristiques chimiques d'un sol ferrallitique dans la zone soudanienne du Burkina Faso', *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13 (4), 2041–2052 p. 2019.
- [6] B. Koulibaly, D. Dakuo, A. Ouattara, O. Traoré, F. Lompo, P.N. Zombré, Y. Kouamé. Effets de l'association du compost et de la fumure minérale sur la productivité d'un système de culture à base de cotonnier et de maïs au Burkina Faso, *Tropicicultura*, 33 (2), 125-134 p. 2015.
- [7] P. Morant Recherche développement Ouest Burkina, Rapport analytique 1982, Ouagadougou: IVRAZ, 15 p. 1984.
- [8] Ministère de la Recherche Scientifique et de l'Innovation (MRSI). Catalogue national des espèces et variétés agricoles du Burkina Faso. Comité national des semences. 81p. 2014.
- [9] S.S.H. Traoré. Etude des impacts agro-pédologiques des apports continus et en rotation de fertilisants organo-minéraux sur le cotonnier en stations de recherche: cas de Sana et Farako-Bâ 66p; 2012.
- [10] L. Delville. Gérer la fertilité des terres dans les pays du Sahel, coll. Le point sur, Paris, GRET/Ministère de la Coopération/CTA. 1996.
- [11] A.J.A. Kotaix, P.T.K. Angui, C.Z.K. Pierre, N.L. Diby, D. Dao, B. Bonfoh. Effet de l'engrais organique liquide « dragon 1», sur le développement de la tomate au sud et au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 25 (1): 37-52p. 2013.
- [12] Z. Konfé, B. Zonou, E. Hien. Influence d'intrants innovants sur les propriétés du sol et la production de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) et d'aubergine (*Solanum melongena* L.) sur un sol ferrugineux tropical en zone soudano-sahélienne au Burkina Faso, *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 13 (4): 2129-2146p. 2019.
- [13] G.B. Deoré, A.S. Limaye, B.M. Shinde, S.L. Laware. Effect of Novel Organic Liquid Fertilizer on Growth and Yield in Chilli (*Capsicum annum* L.). *Asian J. Exp. Biol. Sci. Spl.*, 2010: 15-19p. 2010.
- [14] H. Niknahad-gharmakher. Minéralisation du soufre associé à la décomposition des matières organiques dans les sols et relations avec les dynamiques du carbone et de l'azote, Thèse de Doctorat de l'Institut des Sciences et Industries du vivant et de l'environnement; spécialité Agronomie et environnement; France, 145p. 2008.
- [15] P. Denoroy, C. Le Souder, J.P. Fardeau. Comprendre le fonctionnement des agroécosystèmes pour ajuster l'offre de phosphore, potassium et magnésium aux besoins des cultures. 29p. 2005.
- [16] L.J. Fuglie. New Uses of Moringa Studied in Nicaragua. ECHO Development. <http://www.echotech.org/network/modules.php>. 2000.
- [17] M. L. Price. Le Moringa. In Note technique- ECHO (revue en 2000, en 2002 et en 2007). [En ligne] Accès Internet: <http://www.Echonet.org/tropicalag/technotes/Moringa.pdf> (Page consultée le 14 Octobre 2010). 2007.
- [18] L. Eltrop, B.E. Allison, K. Michels, M.V.K. Sivakumar. Effects of different rates of crop residue application on wind erosion, soil properties and yield and growth. In: Buerkert B, Allison BE, von Oppen M, eds. Wind erosion in Niger. Implications and control measures in millet-based farming system 1996: 139-51p. 1996.
- [19] S. Kaboneka, W.E. Sabbe, A. Mauromoustakos. Carbon decomposition kinetics and nitrogen mineralization from corn, soybean and wheat residues *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 28: 1359-1373 p. 1997.
- [20] Z. Yu, Z. Huang, M. Wang, R. Liu. Nitrogen addition enhances home-field advantages during litter decomposition in subtropical forest plantations. *Soil Biol. Biochem.* 90: 188-196 p. 2015.
- [21] J.T. Upite, A.K. Misonga, E.K.M. Lenge, L.N. Kimuni. Effets des composts ménagers sur les propriétés du sol et sur la productivité des cultures légumières: cas de la tomate (*Lycopersicon Esculentum* Mill), *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 13 (7): 3411-3428p. 2019.
- [22] T.K. Alla, L.E. Bomisso, T. Seydou, E.A Dick. Effets de la fertilisation organique à base de pelure de banane plantain et de fiente de poulet sur les paramètres agronomiques et la rentabilité financière de l'aubergine N'drowa (*Solanum aethiopicum* L.) en Côte d'Ivoire, *Afrique SCIENCE* 18 (6): 25-38p. 2021.
- [23] S. Le Foll. Déclaration au Sénat sur les enjeux du projet de loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt, Sénat, 9 avril 2014.